

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-230470

(P2001-230470A)

(43) 公開日 平成13年 8月24日 (2001.8.24)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テ-マ-ト* (参考)

H 0 1 L 43/08

H 0 1 L 43/08

Z 5 D 0 3 4

G 1 1 B 5/39

G 1 1 B 5/39

5 E 0 4 9

H 0 1 F 10/06

H 0 1 F 10/06

41/32

41/32

H 0 1 L 43/12

H 0 1 L 43/12

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2000-46836(P2000-46836)

(22) 出願日 平成12年 2月18日 (2000.2.18)

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川 6丁目 7番35号

(72) 発明者 橋本 実

東京都品川区北品川 6丁目 7番35号 ソニー株式会社内

(74) 代理人 100067736

弁理士 小池 晃 (外 2名)

Fターム(参考) 5D034 BA05 BA08 CA08 DA07

5E049 AA01 AA04 BA30 CB02 DB02

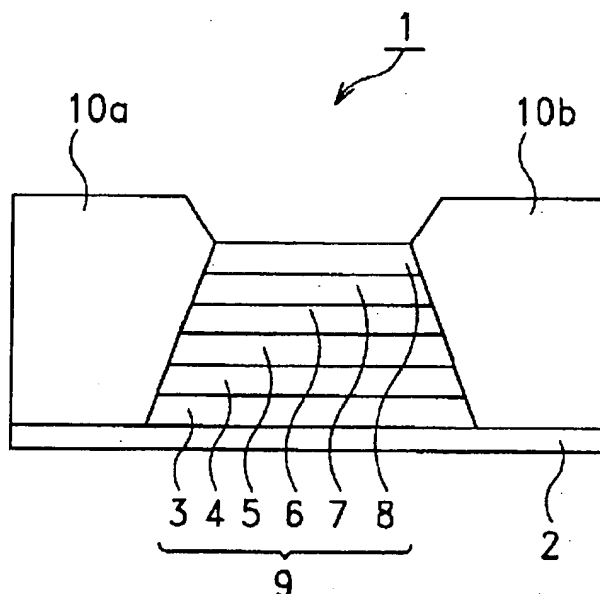
DB12

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果素子及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 フリー層全体に対する磁区制御を行い、磁壁の発生を防ぐ。

【解決手段】 バイアス層 3 を、中間層 4 を介してフリー層 5 と隣接して形成する。このことにより、バイアス層 3 は、フリー層 5 の全体に対してバイアス磁界を印加できる。このため、フリー層 5 は全体的に磁区制御され、磁壁の発生が少なくなる。



BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

【請求項1】 硬磁性層、第1の非磁性層、第1の強磁性層、第2の非磁性層、第2の強磁性層、及び反強磁性層が順次形成されている磁気抵抗効果薄膜と、電極層とを備え、

上記第1の非磁性層は、上記硬磁性層と上記第1の強磁性層とを反強磁性結合させていることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項2】 上記磁気抵抗効果薄膜は、巨大磁気抵抗効果を有しており、電極層が上記磁気抵抗効果薄膜の両端部に形成されていることを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項3】 上記磁気抵抗効果薄膜は、トンネル接合型磁気抵抗効果を有しており、電極層が上記磁気抵抗効果薄膜の両主面側に形成されていることを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項4】 上記第1の非磁性層は、Ru、Ag、Au、又はCuによって形成されていることを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項5】 硬磁性層と、第1の非磁性層と、第1の強磁性層と、第2の非磁性層と、第2の強磁性層と、反強磁性層とが順次形成されてなる磁気抵抗効果薄膜を形成する磁気抵抗効果薄膜形成工程と、上記磁気抵抗効果薄膜が所定の形状となるように、その両端部を除去する両端部除去工程とを有することを特徴とする磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項6】 上記磁気抵抗効果薄膜の両端部に、電極層を形成する電極層形成工程を有することを特徴とする請求項5記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項7】 上記磁気抵抗効果薄膜の両主面側に、電極層を形成する電極層形成工程を有することを特徴とする請求項5記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁気抵抗効果を利用して外部からの磁界を感知する磁気抵抗効果素子及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】ハードディスク装置、及び磁気テープ装置などの高密度磁気記録再生装置においては、磁気抵抗効果薄膜（以下、MR薄膜と称する。）の磁気抵抗効果を利用して、磁気記録媒体に記録された情報信号を読みとる磁気抵抗効果型磁気ヘッド（以下、MRヘッドと称する。）が広く用いられている。

【0003】このMRヘッドとしては、一対の磁気シールド部材間に磁気抵抗効果素子（以下、MR素子と称する。）が設けられた、いわゆるシールド型MRヘッドの実用化が進んでいる。シールド型MRヘッドは、例えば、NiFe、センダストなどにより形成された下部磁気シールド層上に、下部ギャップ層と、MR素子と、上

部ギャップ層と、上部磁気シールド層とが、積層された構造とされている。そして、下部ギャップ層と上部ギャップ層との間は、SiO₂及びAl₂O₃などの絶縁材料によって充填されている。

【0004】上述したMR薄膜には、異方性磁気抵抗効果（AMR：Anisotropic Magneto-Resistive Effect）を示すもの、巨大磁気抵抗効果（GMR：Giant Magnetoresistive Effect）を示すもの、トンネル接合型磁気抵抗効果（TMR：Tunneling Magneto-Resistive Effect）を示すものなどがある。

【0005】巨大磁気抵抗効果を示す薄膜の一つであるスピバルブ膜100は、図19に示すように、フリー層101と、導電性非磁性層102と、ピン層103と、磁化固定層104とを備えている。

【0006】フリー層101は、感磁部であり、高透磁率である軟磁性を有する強磁性材料によって形成されている。ピン層103は、磁化が固定されており、強磁性材料によって形成されている。磁化固定層104は、ピン層103と交換結合することによってピン層103の磁化を固定する層であり、反強磁性材料によって形成されている。また、実際には、図示しない下地層及び保護層が形成されている。

【0007】このようなスピバルブ膜100を備えるMR素子105（以下、GMR素子105と称する。）は、図19に示すように、所定の幅で形成されたスピバルブ膜100の長手方向の両端部に、第2の非磁性層106a、106bを介してバイアス層107a、107b（以下、バイアス層107と称する。）が形成されている。第2の非磁性層106a、106bは、バイアス層107の結晶構造の規則性を向上させるために形成されている。一対のバイアス層107の上には、それぞれ電極層108a、108bが形成されている。

【0008】そして、ピン層103の磁化方向に対して、フリー層101の磁化方向が変化するときには生じる電気抵抗の変化を利用して、外部磁界の検出を行う。

【0009】また、トンネル効果を示すMR薄膜110（以下、TMR薄膜110と称する。）は、図20に示すように、フリー層111と、絶縁性非磁性層112と、ピン層113と、磁化固定層114とを備えている。フリー層111及びピン層113は、強磁性材料によって形成されている。磁化固定層114は、反強磁性材料によって形成されている。また、実際には、図示しない下地層及び保護層が形成されている。

【0010】このようなTMR薄膜110を備えるMR素子115（以下、TMR素子115と称する。）は、所定の幅で形成されたTMR薄膜110の両主面上に、ギャップ層116a、116bを介して磁気シールド層117a、117bが形成されてなる。なお、磁気シールド層117a、117b及びギャップ層116a、116bは、電極層を兼ねている。

【0011】そして、TMR 薄膜 110 の主面に対して略垂直方向に電流を流し、このときに絶縁性非磁性層 112 を流れるトンネル電流のコンダクタンスを測定して、外部磁界の検出を行う。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】上述したようなスピバルブ膜 100 及び TMR 薄膜 110 などの MR 薄膜を使用した MR ヘッドにより、微小な外部磁界を線形性良く検出するためには、MR 薄膜を構成する各層の内部に磁壁が生じないことが重要である。

【0013】しかしながら、MR ヘッドにおいて、上述したスピバルブ膜 100 及び TMR 薄膜 110 は、再生対象外の磁界を引き込む磁気シールド層上に、MR 薄膜との絶縁を保つギャップ層を介して形成される。

【0014】このギャップ層は、 SiO_2 、 Al_2O_3 などにより形成される。このため、GMR 薄膜 100 におけるフリー層 102、及び TMR 薄膜 110 におけるフリー層 112 の内部には結晶規則性の乱れが生じ、磁壁及び磁歪などが発生しやすい。

【0015】まず、スピバルブ膜 100 を備える GMR 素子 105 を例に挙げて、フリー層 102 における磁壁の発生について説明する。

【0016】スピバルブ膜 100 の長手方向の両端部には、フリー層 102 に対してバイアス磁界を印加するために、一対のバイアス層 107 が形成されている。フリー層 102 に対してバイアス層 107 から印加されるバイアス磁界は、フリー層 102 の端部では強いので、フリー層 102 の端部に生じるエッジカーリング磁壁を取り除くことができる。

【0017】しかしながら、フリー層 102 に対してバイアス層 107 から印加されるバイアス磁界は、フリー層 102 の中央部では弱い。上述した磁壁はフリー層 102 内部に不規則に生じるため、フリー層 102 の中央部に生じることもある。この場合、バイアス層 107 が形成されているだけでは、フリー層 102 の中央部に印加されるバイアス磁界が不十分であるため、フリー層 102 の中央部に磁壁が発生する。

【0018】また、バイアス層 107 は、いわゆるアバットプロセスによって形成されるため、形状を対称的に形成することは困難であり、実際には図 21 に示すように非対称な形状で形成されることが多い。このときの抵抗値の分布は、図 22 に示すように、フリー層 102 の両端部において非対称となる。

【0019】また、MR 素子は、基板上に複数形成される。このため、形成される位置によってバイアス層 107 の形状は変化する。このため、GMR 素子 105 を備える MR ヘッドは、図 23 に示すように、感磁部における抵抗値の分布にばらつきが生じる。

【0020】なお、図 22 及び図 23 において使用した MR ヘッドは、ギャップ長が $0.2 \mu\text{m}$ であり、トラッ

ク幅が $0.7 \mu\text{m}$ である。

【0021】次に、TMR 薄膜 110 を備える TMR 素子 115 を例に挙げて、フリー層 112 の内部における磁壁の発生について説明する。

【0022】TMR 素子 115 においては、上述したように、膜面に対して略垂直方向に電流を流す。このため、バイアス層を TMR 薄膜 110 の両端部に形成した場合には、電流がバイアス層へ分流してしまう。バイアス層を TMR 薄膜 110 の両端部に形成することが不可能であるため、フリー層 112 に対して磁区制御を行うことが困難となる。このため、フリー層 112 には磁壁が発生しやすい。

【0023】本発明は、このような従来の実状に鑑みて提案されたものであり、第 1 の強磁性層を全体的に磁区制御することが可能である磁気抵抗効果素子及びその製造方法を提供することを目的とする。

【0024】

【課題を解決するための手段】本発明に係る磁気抵抗効果素子は、硬磁性層、第 1 の非磁性層、第 1 の強磁性層、第 2 の非磁性層、第 2 の強磁性層、及び反強磁性層が順次形成されている磁気抵抗効果薄膜と、電極層とを備える。そして、上記第 1 の非磁性層は、上記硬磁性層と上記第 1 の強磁性層とを反強磁性結合させていることを特徴とする。

【0025】以上のように構成された本発明に係る磁気抵抗効果素子は、硬磁性層からのバイアス磁界が第 1 の強磁性層全体に対して印加されるため、第 1 の強磁性層を全体的に磁区制御することが可能となる。このため、微小な外部磁界を線形性良く検出することが可能となる。

【0026】また、本発明に係る磁気抵抗効果素子の製造方法は、磁気抵抗効果薄膜形成工程と、両端部除去工程とを有する。磁気抵抗効果薄膜形成工程においては、硬磁性層と、第 1 の非磁性層と、第 1 の強磁性層と、第 2 の非磁性層と、第 2 の強磁性層と、反強磁性層とが順次形成されてなる磁気抵抗効果薄膜を形成する。両端部除去工程においては、上記磁気抵抗効果薄膜が所定の形状となるようにその両端部を除去する。

【0027】したがって、硬磁性層が所定の形状である磁気抵抗効果素子を提供することが可能となる。また、第 1 の強磁性層の全体を磁区制御することができ、微小な外部磁界を線形性良く検出できる磁気抵抗効果素子を提供することが可能となる。

【0028】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。以下では、まず、図 1 に示すような、巨大磁気抵抗効果を有する磁気抵抗効果素子 1（以下、GMR 素子 1 と称する。）について説明する。

【0029】なお、以下の説明で用いる図面は、各部の

特徴をわかりやすく図示するために、特徴となる部分を拡大して示している場合があり、各部材の寸法の比率が実際と同じであるとは限らない。また、以下ではGMR素子1を構成する各層の構成や材料等について例示するが、本発明は、例示するGMR素子1に限定されるものではなく、所望とする目的や性能に応じて各層の構成や材料等を選択すればよい。

【0030】GMR素子1は、図1に示すように、基板
上2に、バイアス層3と、中間層4と、フリー層5と、
導電性非磁性層6と、ピン層7と、磁化固定層8とを備
えるスピバルブ膜9が形成されている。そして、スピ
ンバルブ膜9の両端部に電極層10a、10b（以下、
まとめて電極層10と称する。）が形成されてなる。

【0031】基板2は、ガラスなどの非磁性非導電性材
料によって形成されている。

【0032】バイアス層3は、硬磁性材料によって形成
されている。使用される硬磁性材料の例としては、Co
CrPt、CoPt、CoNiPt、Co γ -Fe γ O γ
などが挙げられる。バイアス層3は、フリー層5に対し
てバイアス磁界を印加することによってフリー層5内部
の磁区を単磁区化し、磁壁の発生を防止する。

【0033】バイアス層3は、後述するように、両端部
にエッチング又はイオンミリングを施すことにより形状
が規定される。このため、バイアス層3は高精度に所
定の形状とすることが可能となる。

【0034】中間層4は、非磁性材料によって形成され
ており、バイアス層3と後述するフリー層5とを反強磁
性的に結合させる機能を有している。言い換えると、バ
イアス層3の磁化方向とフリー層5との磁化方向とを1
80°逆向きとする。この反強磁性結合層4を形成する
材料の例としては、Ru、Cu、Ag、Auが挙げられ
る。

【0035】なお、図2に示すように、中間層4の膜厚
によって、バイアス層3とフリー層5との結合定数 J_1
は変化する。 $J_1 < 0$ のときに、バイアス層3とフリー
層5とは反強磁性的に結合する。本実施の形態におい
ては、Ruによって中間層4を形成した。このとき、中間
層4の厚さは、0.65nm以上且つ0.90nm以下
であることが望ましく、0.8nmであることが最も望
ましい。

【0036】しかしながら、 $J_1 < 0$ となる中間層4の
厚さは、バイアス層3、フリー層5、及び中間層4を形
成する材料によって変化する。このため、中間層4は、
 $J_1 < 0$ となる厚さで形成すればよい。

【0037】フリー層5は、外部磁界によって磁化が変
化する部位であり、強磁性材料によって形成されてい
る。使用される強磁性材料の例としては、NiFe、Co
Feなどが挙げられる。

【0038】図3に示すように、中間層4が形成される
ことによって、バイアス層3と、フリー層5とは、反強

磁性的に結合する。そして、バイアス層3の磁化方向は
矢印Aで示す方向となり、フリー層5の磁化方向は矢印
Bで示す方向となる。また、バイアス層3と、フリー層
5の端部においては、矢印C及び矢印Dで示す磁界が生
じる。このため、バイアス層3は、フリー層5における
一方の端部から他方の端部までを連続的に磁区制御す
ることが可能となり、フリー層5全体を磁区制御するこ
とが可能となる。

【0039】上述したように、バイアス層3が中間層4
を介してフリー層5に隣接して形成されることにより、
バイアス層3はフリー層5全体に対してバイアス磁界を
印加することが可能となる。このため、バイアス層3は
フリー層5において全体を単磁区化し、磁壁の発生を防
止する。

【0040】導電性非磁性層6は、これを形成すること
によってスピバルブ膜9において巨大磁気抵抗効果が
発現する部位である。導電性非磁性層6は、非磁性であ
り且つ導電性を示す材料によって形成される。使用され
る材料の例としては、Au、Ag、Cuなどが挙げられ
る。

【0041】ピン層7は、磁化方向が固定された部位で
あり、強磁性材料によって形成されている。使用される
強磁性材料の例としては、NiFe、CoFe、Coな
どが挙げられる。

【0042】磁化固定層8は、上述したピン層7と交換
結合することにより、ピン層7の磁化方向を固定する部
位であり、反強磁性材料によって形成される。使用され
る反強磁性材料の例としては、IrMn、FeMn、Ni
Mn、RhMn、PtMn、CoPtMnなどが挙げ
られる。

【0043】電極層10は、スピバルブ膜9に対して
センス電流を供給する。電極層10は、導電性であり且
つ抵抗値が低い金属材料によって薄膜状に形成されてい
る。ここで抵抗値が低い材料を使用することにより、G
MR素子1全体の抵抗値を下げる事が可能となる。使
用される金属材料の例としては、Cr、Ta等が好適で
ある。

【0044】以上のように、構成されたGMR素子1を
使用して作製したMRヘッドにおける抵抗値を測定した
ところ、図4に示すように、抵抗値の分布が左右対称で
あることが判明した。また、抵抗値のばらつきも少ない
ことが判明した。

【0045】以上の説明からも明らかなように、GMR
素子1は、バイアス層3が第1の非磁性層4を介してフ
リー層5に隣接して形成されることにより、バイアス層
3は、フリー層5全体に対してバイアス磁界を印加する
ことが可能となる。このため、GMR素子1において
は、フリー層5全体が単磁区化され、磁壁の発生が防止
される。

【0046】また、バイアス層3とフリー層5とが反強

磁性的に結合することにより、図3に示すように、バイアス層3がフリー層5に対して印加する磁界の方向と、フリー層5における磁化の方向とが一致する。このことにより、バイアス層3は、フリー層5における一方の端部から他方の端部までを、連続的に磁区制御することが可能となるため、図5に示すように、フリー層5の磁化は、全体において一定方向となる。そして、GMR素子1における抵抗値の分布が左右対称となり、微小な外部磁界を線形性良く検出することが可能となる。

【0047】なお、GMR素子1は、図6に示すように、基板2上に磁化固定層8と、ピン層7と、導電性非磁性層6と、フリー層5と、中間層4と、バイアス層3とが順次形成されており、その両端に電極層10a、10bが形成されていても良い。

【0048】つぎに、トンネル効果を示す磁気抵抗効果素子20（以下、TMR素子20と称する。）について説明する。なお、以下ではTMR素子20を構成する各薄膜の構成や材料等について例示するが、本発明は、例示するTMR素子20に限定されるものではなく、所望とする目的や性能に応じて各薄膜の構成や材料等を選択すればよい。

【0049】TMR素子20は、図7に示すように、下部磁気シールド層21aと、下部磁気ギャップ層22aと、バイアス層23と、中間層24と、フリー層25と、トンネル障壁層26と、ピン層27と、磁化固定層28と、上部ギャップ層22bと、上部磁気シールド層21bとが順次形成されてなる。バイアス層23と、中間層24と、フリー層25と、トンネル障壁層26と、ピン層27と、磁化固定層28とによってTMR薄膜29が形成されている。なお、TMR素子20の周囲には、図示しない絶縁材料が充填されている。

【0050】下部磁気シールド層21a及び上部磁気シールド層21b（以下、まとめて磁気シールド層21と総称する。）は、電極層を兼ねている。磁気シールド層21は、導電性をもつ磁性材料から形成される。使用される材料の例としては、センダスト（Fe-Al-Si合金）等が挙げられる。また、この下部磁気シールド層21aと上部磁気シールド層21bとの幅をシールド間距離という。

【0051】下部ギャップ層22a及び上部ギャップ層22b（以下、ギャップ層22と総称する。）は、磁気シールド層21と、TMR薄膜29を構成する各金属層とを磁氣的に隔離する。具体的には、下部ギャップ層22aは、下部磁気シールド層21aとバイアス層23とを隔離し、上部ギャップ層22bは、上部シールド層21bと磁化固定層28とを隔離する。

【0052】ギャップ層22は、電極層も兼ねている。ギャップ層22は、導電性をもつ非磁性材料から形成される。使用される材料の例としては、Cu等が挙げられる。

【0053】バイアス層23は、上述したGMR素子1におけるバイアス層3と同じでありフリー層25に対してバイアス磁界を印加することによってフリー層25内部の磁区を単磁区化し、磁壁の発生を防止する。バイアス層23は、硬磁性材料によって形成される。使用される硬磁性材料の例としては、CoCrPt、CoPt、CoNiPt、Co₉₀Fe₁₀O₂などが挙げられる。

【0054】中間層24は、上述したGMR素子1における中間層4と同じであり、バイアス層23と後述するフリー層25とを反強磁性的に結合させる。中間層24を形成する材料の例としては、Ru、Cu、Ag、Auが挙げられる。

【0055】なお、上述したGMR素子1と同様に、中間層24の膜厚によって、バイアス層23とフリー層25との結合定数 J_i は変化する。 $J_i < 0$ のときに、バイアス層23とフリー層25とは反強磁性結合的に結合する。しかしながら、 $J_i < 0$ となる中間層25の厚さは、バイアス層23、中間層24、及びフリー層25を形成する材料によって変化する。このため、中間層24の厚さは、 $J_i < 0$ となるようにすればよい。

【0056】フリー層25は、外部磁界によって磁化が変化する部位であり、強磁性材料によって形成されている。使用される強磁性材料の例としては、NiFe、CoFeなどが挙げられる。

【0057】TMR素子20においても、GMR素子1と同様に、中間層24が形成されることによって、バイアス層23と、フリー層25とは、反強磁性的に結合する。そして、図3に示すように、バイアス層23の磁化方向は矢印Aで示す方向となり、フリー層25の磁化方向は矢印Bで示す方向となる。また、バイアス層23と、フリー層25の端部においては、矢印C及び矢印Dで示す磁界が生じる。

【0058】このため、バイアス層23は、フリー層25における一方の端部から他方の端部までを連続的に磁区制御することが可能となり、フリー層25全体を磁区制御することが可能となる。

【0059】上述したように、TMR素子20においても、GMR素子1と同様に、バイアス層23が第1の非磁性層24を介してフリー層25に隣接して形成されることにより、バイアス層23は、フリー層25全体に対してバイアス磁界を印加することが可能となる。このため、バイアス層23は、フリー層25全体を単磁区化し、磁壁の発生を防止する。

【0060】トンネル障壁層26は、TMR素子20に対してセンス電流を流したときに、トンネル電流が流れる部位である。なお、センス電流はTMR薄膜29の主面に対して垂直に流れる。TMR素子20では、このトンネル電流のコンダクタンスを検出することによって外部磁界の検出を行う。トンネル障壁層26は、非磁性で且つ絶縁性である金属によって作成された極めて薄い層

である。使用される材料の例としては Al_2O_3 が挙げられるが、トンネル電流が流れる材料であれば特に限定されない。

【0061】ピン層 27 は、後述する磁化固定層 28 との交換結合によって磁化の方向が固定されている。ピン層 27 は、強磁性体によって形成される。使用される強磁性体の例としては、 $CoFe$ などが挙げられる。

【0062】磁化固定層 28 は、ピン層 27 と交換結合をすることで、ピン層 27 の磁化を固定する。磁化固定層 28 は、反強磁性体によって形成される。使用される反強磁性体の例としては、 $IrMn$ が挙げられる。

【0063】以上の説明からも明らかなように、TMR 素子 20 は、バイアス層 23 が中間層 24 を介してフリー層 25 に隣接して形成されることにより、フリー層 25 全体に対してバイアス磁界を印加することが可能となる。このため、フリー層 25 全体を単磁区化し、磁壁の発生を防止することが可能となる。

【0064】また、バイアス層 23 とフリー層 25 とが反強磁性的に結合することにより、バイアス層 23 がフリー層 25 に対して印加するバイアス磁界の方向と、フリー層 25 における磁化の方向とが一致する。このことにより、バイアス層 23 は、フリー層 25 における一方の端部から他方の端部までを、連続的に磁区制御することが可能となるため、フリー層 25 の磁化は全体において一定方向となる。

【0065】そして、TMR 素子 20 の感磁部における抵抗値の分布が左右対称となり、微小な外部磁界を線形性良く検出することが可能となる。

【0066】また、TMR 素子 20 は、図 8 に示すように、下部磁気シールド層 21 a と、下部ギャップ層 22 a とを順次形成し、下部磁気シールド層 22 a 上に、磁化固定層 28 と、ピン層 27 と、トンネル障壁層 26 と、フリー層 25 と、中間層 24 と、バイアス層 23 とが順次形成されており、その上に上部ギャップ層 22 b と、上部シールド層 21 b とが順次積層されていてもよい。

【0067】つぎに、MR 素子の製造方法について説明する。まず、上述した GMR 素子 1 の製造方法について説明する。なお、以下の説明で用いる図面は、特徴を分かりやすく図示するために、図 1 乃至図 8 と同様に、特徴となる部分を拡大して示している場合があり、各部材の寸法の比率が実際と同じであるとは限らない。

【0068】GMR 素子 1 を製造するときには、まず、図 9 に示すように、最終的に基板 2 となる基板材 40 上に、最終的にバイアス層 3 となる永久磁石層 41 と、最終的に中間層 4 となる第 1 の非磁性層 42 と、最終的にフリー層 5 となる第 1 の強磁性層 43 と、最終的に導電性非磁性層 6 となる第 2 の非磁性層 44 と、最終的にピン層 7 となる第 2 の強磁性層 45 と、最終的に磁化固定層 8 となる反強磁性層 46 とを、スパッタリングなどに

より順次積層する。このことにより、スピバルブ膜 9 を形成する。

【0069】次に、スピバルブ膜 9 の両端部を除去し、所定の形状とする。このとき、先ず、図 10 に示すように、第 2 の非磁性層 44 上にレジスト材料を塗布してレジスト層を形成し、フォトリソグラフィ法によりこのレジスト層を所定の形状となるようにパターンニングして、レジストパターン 47 を形成する。

【0070】次に、図 11 に示すように、イオンミリングなどによって各層の両端部に対して基板材 40 が露出するまでエッチングを施し、スピバルブ膜 9 の両端部を除去する。

【0071】上述したように永久磁石層 41 の両端部が除去されることによって、バイアス層 3 の形状が高精度に規定されるため、所定の形状のバイアス層 3 を形成することが容易になる。そして、フリー層 5 に対して十分なバイアス磁界を印加できる GMR 素子 1 を提供することが容易になる。また、感磁部の幅が正確に規定された GMR 素子 1 を提供することが可能となる。このため、GMR 素子 1 の生産性が向上する。

【0072】次に、図 12 に示すように、スピバルブ膜 9 の両端部に、最終的に電極層 10 となる導電性金属層 48 を形成する。

【0073】最後に、フォトリソレジスト 47 を除去し、図 1 に示すような GMR 素子 1 が完成する。

【0074】以上の説明からも明らかなように、GMR 素子 1 の製造方法によれば、バイアス層 3 及び感磁部の形状が高精度に規定された GMR 素子 1 を提供することが容易になる。このため、GMR 素子 1 の生産性が向上する。また、フリー層 5 における磁壁が少なく、微小な外部磁界を線形性良く検出することが可能である GMR 素子 1 を提供することが可能となる。

【0075】つぎに、TMR 素子 20 の製造方法について説明する。

【0076】先ず、図 13 に示すように、基板材 50 の一主面上に、最終的に下部磁気シールド層 22 a となる第 1 の磁性層 51 を形成する。第 1 の磁性層 51 は、高度に平坦化されることが望ましい。基板材 50 は、非磁性非導電性材料により形成される。例としては、 $AlTiC$ 系、 $TiO-CaO$ 系など、一般に薄膜ヘッドを製造するとき使用されるものが挙げられる。

【0077】次に、図 14 に示すように、第 1 の磁性層 51 上に、最終的に下部ギャップ層 23 a となる第 1 の非磁性層 52 と、最終的にバイアス層 24 となる永久磁石層 53 と、最終的に中間層 25 となる第 2 の非磁性層 54 と、最終的にフリー層 26 となる第 1 の強磁性層 55 と、最終的にトンネル障壁層 27 となる第 3 の非磁性層 56 と、最終的にピン層 28 となる第 2 の強磁性層 57 と、最終的に磁化固定層 29 となる反強磁性層 58 と、最終的に上部ギャップ層 23 b となる第 4 の非磁性

層 59 とを、例えばスパッタリング法などの手法により順次形成する。

【0078】次に、図 15 に示すように、第 4 の非磁性層 59 上にレジスト材料を塗布してレジスト層を形成し、フォトリソグラフィ法によりこのレジスト層を所定の形状にパターニングしてレジストパターン 60 を形成する。

【0079】次に、図 16 に示すように、イオンミリングによって、各層の両端部に対して第 1 の磁性層 51 が露出するまでエッチングを施し、各層が所定の幅となるようにする。

【0080】次に、図 17 に示すように、エッチングを施して露出した第 1 の磁性層 51 上に絶縁層 61 を形成する。この後、有機溶剤等によりレジストパターン 60 を剥離する。

【0081】次に、図 18 に示すように、略同一面を形成する絶縁層 61 及び第 4 の非磁性層 59 上に、最終的に上部磁気シールド層 21b となる第 2 の磁性層 62 を形成する。その後、第 2 の磁性層 62 を所定の形状とし、上部磁気シールド層 21b とする。第 2 の磁性層 62 を形成する方法としては、所定の形状とされたレジストパターンを用いたメッキ法、及びスパッタ法による成膜の後にエッチングを施す方法などが挙げられる。これにより、図 7 に示すような TMR 素子 20 が作成される。

【0082】以上の説明からも明らかなように、TMR 素子 20 の製造方法によれば、フリー層 26 における磁壁が少なく、微小な外部磁界を線形性良く検出することが可能である TMR 素子 20 を提供することが可能となる。

【0083】以上の説明からも明らかなように、GMR 素子 1 においては、バイアス層 3 が中間層 4 を介してフリー層 5 に隣接して形成されることにより、バイアス層 3 が、フリー層 5 全体に対してバイアス磁界を印加することが可能となる。このため、GMR 素子 1 は、フリー層 5 が全体的に単磁区化されており、磁壁の発生が少ない。

【0084】また、GMR 素子 1 は、バイアス層 3 とフリー層 5 とが反強磁性的に結合することにより、バイアス層 3 がフリー層 5 に対して印加するバイアス磁界の方向と、フリー層 5 における磁化の方向とが一致する。このことにより、フリー層 5 において、一方の端部から他方の端部までを連続的に磁区制御することが可能となるために磁化は一定となり、GMR 素子 1 における抵抗値の分布が左右対称となる。このため、微小な外部磁界を線形性良く検出することが可能である GMR 素子 1 を提供することが可能となる。

【0085】また、TMR 素子 20 は、バイアス層 24 が中間層 25 を介してフリー層 26 に隣接して形成されることにより、バイアス層 24 は、フリー層 26 全体に

対してバイアス磁界を印加することが可能となる。このため、TMR 素子 20 は、フリー層 26 が全体的に単磁区化されており、磁壁の発生が少ない。

【0086】また、TMR 素子 20 においては、バイアス層 24 とフリー層 26 とが反強磁性的に結合することにより、バイアス層 24 がフリー層 26 に対して印加するバイアス磁界の方向と、フリー層 26 における磁化の方向とが一致する。このことにより、バイアス層 24 は、フリー層 26 における一方の端部から他方の端部までを連続的に磁区制御することが可能となるため、フリー層 26 の磁化は一定となる。そして、TMR 素子 20 における抵抗値の分布が左右対称となる。

【0087】また、GMR 素子 1 の製造方法によれば、バイアス層 3 及び感磁部を高精度に所定の形状とすることが容易になるため、生産性が向上する。また、フリー層 5 における磁壁が少なく、微小な外部磁界を線形性良く検出できる GMR 素子 1 を提供することが可能となる。

【0088】また、TMR 素子 20 の製造方法によれば、フリー層 26 における磁壁が少なく、微小な外部磁界を線形性良く検出できる TMR 素子 20 を提供することが可能となる。

【0089】

【発明の効果】以上の説明からも明らかなように、本発明に係る磁気抵抗効果素子においては、硬磁性層が第 1 の非磁性層を介して第 1 の強磁性層に隣接して形成されることにより、硬磁性層が第 1 の強磁性層全体に対してバイアス磁界を印加することが可能となる。このため、本発明に係る磁気抵抗効果素子は、第 1 の強磁性層全体を単磁区化し、磁壁の発生を防止することが可能となる。

【0090】また、硬磁性層と第 1 の強磁性層とが反強磁性的に結合することにより、硬磁性層が第 1 の強磁性層に対して印加する磁界の方向と、第 1 の強磁性層における磁化の方向とが一致する。このことにより、硬磁性層は、第 1 の強磁性層における一方の端部から他方の端部までを、連続的に磁区制御することが可能となるため、第 1 の強磁性層の磁化は一定となり、磁気抵抗効果素子における抵抗値の分布が左右対称となる。

【0091】また、磁気抵抗効果素子の製造方法によれば、硬磁性層及び感磁部の形状を一定とすることが容易になるため、生産性が向上する。また、第 1 の強磁性層における磁壁が少なく、微小な外部磁界を線形性良く検出できる磁気抵抗効果素子を提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る GMR 素子を示す要部拡大図である。

【図 2】CoCrPt によってバイアス層を形成し、NiFe によってフリー層を形成したときの、Ru 層の厚

さと、結合定数との関係を示す図である。

【図3】同GMR素子におけるバイアス層とフリー層との結合状態を説明するための模式図である。

【図4】同GMR素子を使用して作製したMRヘッドにおける抵抗値の分布を示す図である。

【図5】同GMR素子におけるフリー層の磁化方向を示す模式図である。

【図6】同GMR素子のうち、基板上に磁化固定層が形成されている例を示す要部拡大図である。

【図7】本発明に係るTMR素子を示す要部拡大図である。 10

【図8】同TMR素子のうち、下層ギャップ層上に磁化固定層が形成されている例を示す要部拡大図である。

【図9】本発明に係るGMR素子の製造方法を説明するための図であり、反強磁性層までを形成した状態を示す断面図である。

【図10】同GMR素子の製造方法を説明するための図であり、フォトリソを形成した状態を示す断面図である。

【図11】同GMR素子の製造方法を説明するための図であり、スピナルブ膜に対してエッチングを施した状態を示す断面図である。 20

【図12】同GMR素子の製造方法を説明するための図であり、電極層を形成した状態を示す断面図である。

【図13】本発明に係るTMR素子の製造方法を説明するための図であり、第1の磁性層を形成した状態を示す断面図である。

*

* 【図14】同TMR素子の製造方法を説明するための図であり、第4の非磁性層までを形成した状態を示す断面図である。

【図15】同TMR素子の製造方法を説明するための図であり、フォトリソを形成した状態を示す断面図である。

【図16】同TMR素子の製造方法を説明するための図であり、TMR薄膜に対してエッチングを施した状態を示す断面図である。

【図17】同TMR素子の製造方法を説明するための図であり、絶縁層を形成した状態を示す断面図である。

【図18】同TMR素子の製造方法を説明するための図であり、第2の磁性層を形成した状態を示す断面図である。

【図19】従来のGMR素子を示す要部拡大図である。

【図20】従来のTMR素子を示す要部拡大図である。

【図21】従来のGMR素子におけるバイアス層を示す模式図である。

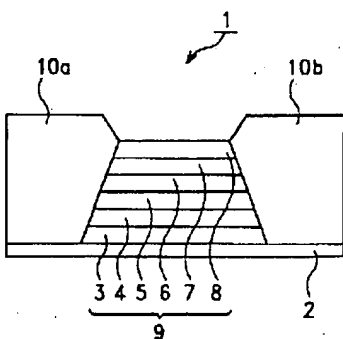
【図22】従来のMR素子におけるフリー層の磁化の状態を示す模式図である。

【図23】従来のGMR素子を使用して作製したMRヘッドにおける抵抗値の分布を示す図である。

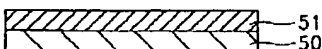
【符号の説明】

1 GMR素子、2 基板、3 バイアス層、4 中間層、5 フリー層、6 導電性非磁性層、7 ピン層、8 磁化固定層、9 スピナルブ膜、10 電極層

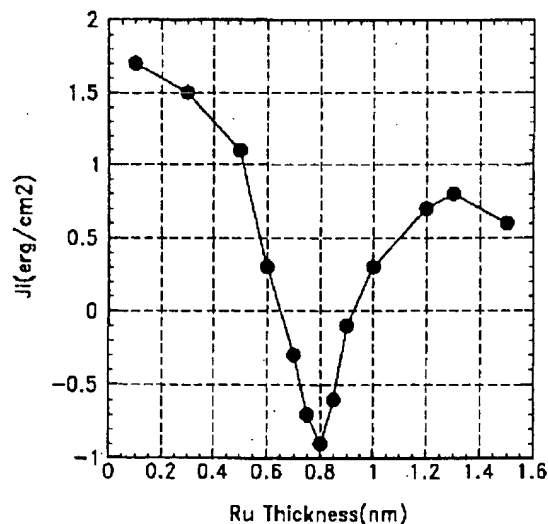
【図1】



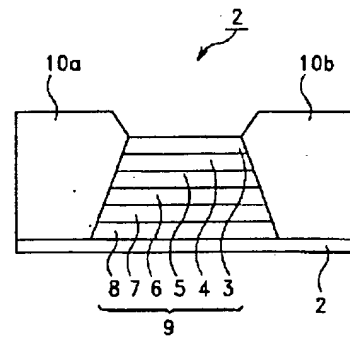
【図13】



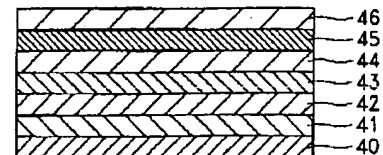
【図2】



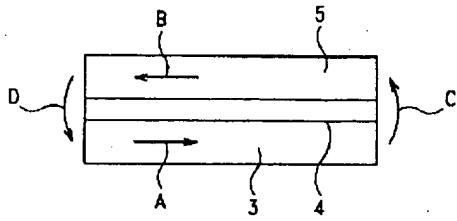
【図6】



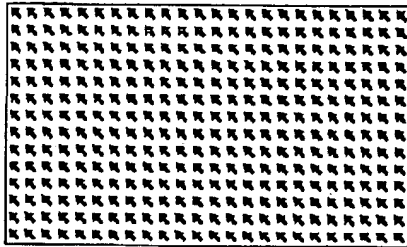
【図9】



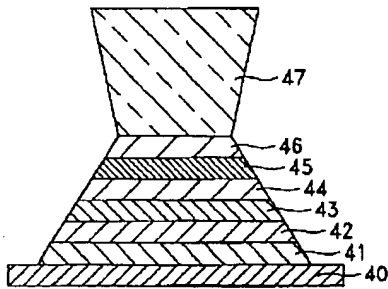
【図 3】



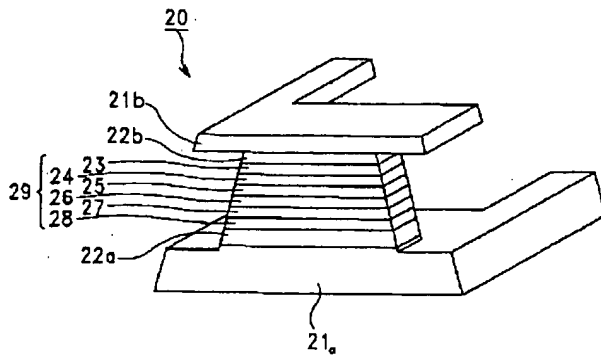
【図 5】



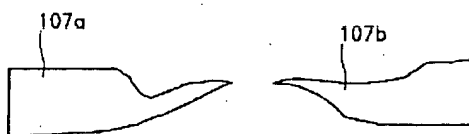
【図 11】



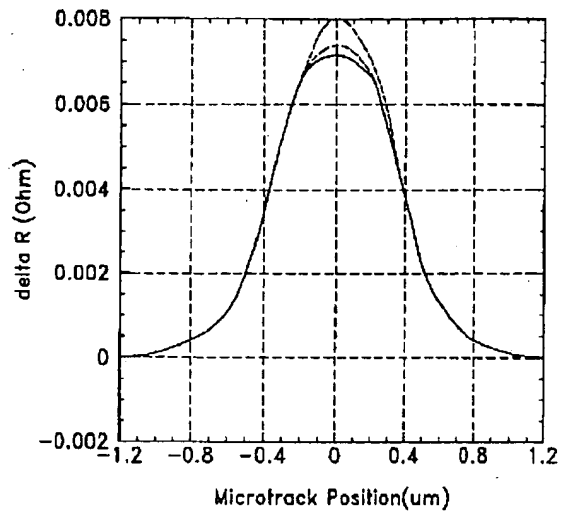
【図 8】



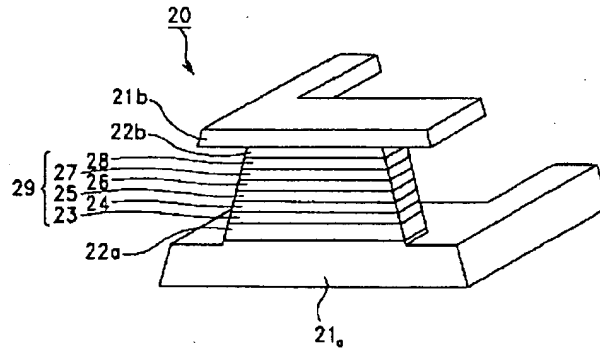
【図 21】



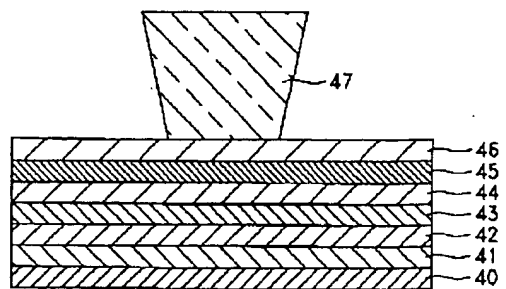
【図 4】



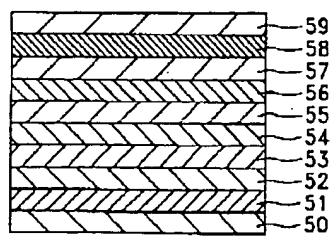
【図 7】



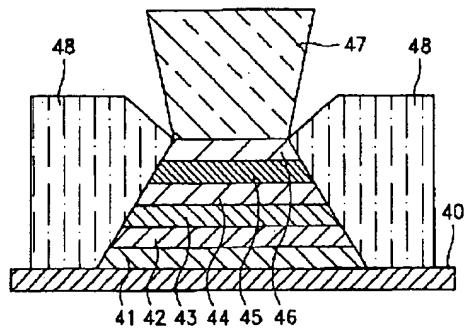
【図 10】



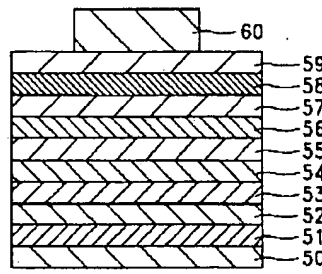
【図 14】



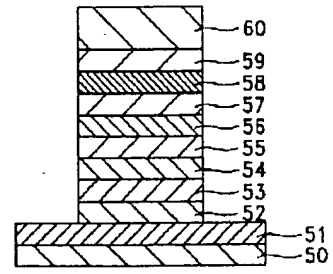
【図 12】



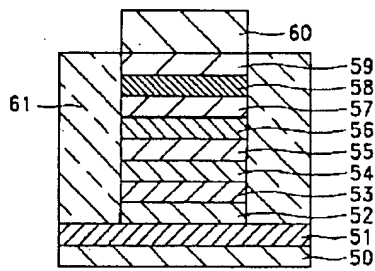
【図 15】



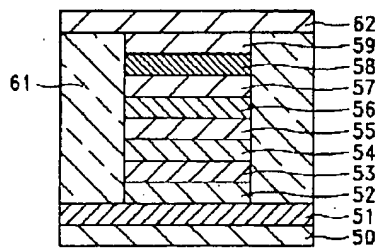
【図 16】



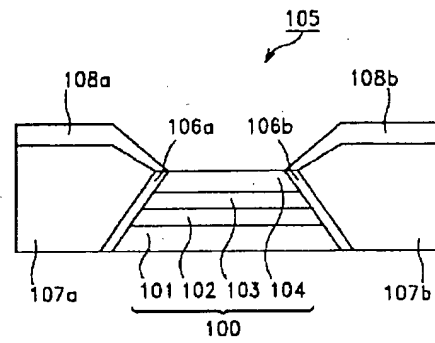
【図 17】



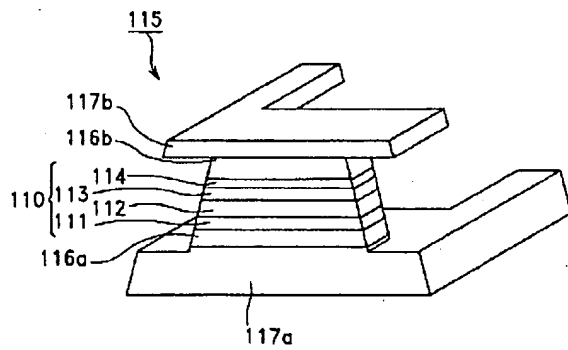
【図 18】



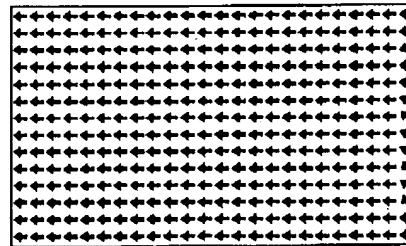
【図 19】



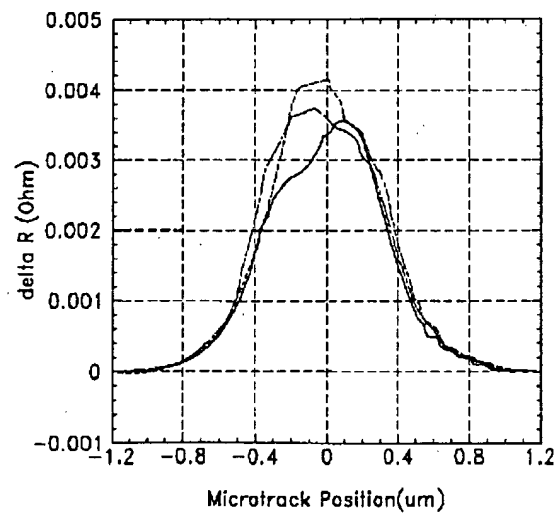
【図 20】



【図 22】



【図 23】



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-230470

(43)Date of publication of application : 24.08.2001

(51)Int.Cl.

H01L 43/08

G11B 5/39

H01F 10/06

H01F 41/32

H01L 43/12

(21)Application number : 2000-046836

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 18.02.2000

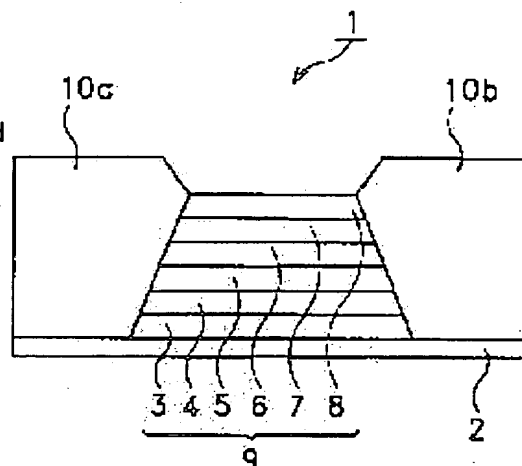
(72)Inventor : HASHIMOTO MINORU

(54) MAGNETORESISTIVE ELEMENT AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To prevent the generation of magnetic domain walls by controlling a magnetic domain for the entire free layer.

SOLUTION: A bias layer 3 is formed adjacently to the free layer 5 via an intermediate layer 4. Due to this structure, the bias layer 3 can apply a bias magnetic field to the entire free layer 5. As a result, the entire free layer 5 is controlled for the magnetic domain to generate only a few magnetic domain walls.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

BEST AVAILABLE COPY

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] It is the magneto-resistive effect component which is equipped with the magneto-resistive effect thin film with which sequential formation of a hard magnetism layer, the 1st non-magnetic layer, the 1st ferromagnetic layer, the 2nd non-magnetic layer, the 2nd ferromagnetic layer, and the antiferromagnetism layer is carried out, and an electrode layer, and is characterized by the 1st non-magnetic layer of the above carrying out antiferromagnetism association of the above-mentioned hard magnetism layer and the ferromagnetic layer of the above 1st.

[Claim 2] The above-mentioned magneto-resistive effect thin film is a magneto-resistive effect component according to claim 1 characterized by having giant magneto-resistance and forming the electrode layer in the both ends of the above-mentioned magneto-resistive effect thin film.

[Claim 3] The above-mentioned magneto-resistive effect thin film is a magneto-resistive effect component according to claim 1 characterized by having the tunnel junction mold magneto-resistive effect, and forming the electrode layer in both the principal plane side of the above-mentioned magneto-resistive effect thin film.

[Claim 4] The 1st non-magnetic layer of the above is a magneto-resistive effect component according to claim 1 characterized by being formed of Ru, Ag, Au, or Cu.

[Claim 5] The manufacture approach of the magneto-resistive effect component characterized by having the magneto-resistive effect film formation process which forms the magneto-resistive effect thin film with which it comes to carry out sequential formation of a hard magnetism layer, the 1st non-magnetic layer, the 1st ferromagnetic layer, the 2nd non-magnetic layer, the 2nd ferromagnetic layer, and the antiferromagnetism layer, and the both-ends removal process of removing the both ends so that the above-mentioned magneto-resistive effect thin film may serve as a predetermined configuration.

[Claim 6] The manufacture approach of the magneto-resistive effect component according to claim 5 characterized by having the electrode layer formation process which forms an electrode layer in the both ends of the above-mentioned magneto-resistive effect thin film.

[Claim 7] The manufacture approach of the magneto-resistive effect component according to claim 5 characterized by having the electrode layer formation process which forms an electrode layer in both the principal plane side of the above-mentioned magneto-resistive effect thin film.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the magneto-resistive effect component which senses the field from the outside using a magneto-resistive effect, and its manufacture approach.

[0002]

[Description of the Prior Art] In high density magnetic recorder and reproducing devices, such as a hard disk drive unit and a magnetic tape unit, the magneto-resistive effect mold magnetic head (an MR head is called hereafter.) which reads the information signal recorded on the magnetic-recording medium is widely used using the magneto-resistive effect thin film (MR thin film is called hereafter.) magneto-resistive effect.

[0003] As this MR head, the utilization of the so-called shielding mold MR head in which the magneto-resistive effect component (MR component is called hereafter.) was prepared between the magnetic-shielding members of a pair is progressing. The shielding mold MR head is made into the structure where the laminating of a lower gap layer, MR component, an up gap layer, and the up magnetic-shielding layer was carried out on the lower magnetic-shielding layer formed of NiFe, Sendust, etc. And insulating materials, such as SiO₂ and aluminum 2O₃, are filled up between the lower gap layer and the up gap layer.

[0004] There are what shows an anisotropy magneto-resistive effect (AMR:Anisotropic Magneto-Resistive Effect), a thing which shows giant magneto-resistance (GMR:Giant Magneto-Resistive Effect), a thing which shows a tunnel junction mold magneto-resistive effect (TMR:Tunneling Magneto-Resistive Effect) in MR thin film mentioned above.

[0005] The spin bulb film 100 which is one of the thin films in which giant magneto-resistance is shown is equipped with the free layer 101, the conductive non-magnetic layer 102, the pin layer 103, and the magnetization fixed bed 104 as shown in drawing 19 .

[0006] The free layer 101 is a magnetic force sencor, and is formed with the ferromagnetic ingredient which has the soft magnetism which is high permeability. Magnetization is being fixed and the pin layer 103 is formed with the ferromagnetic ingredient. By carrying out switched connection to the pin layer 103, the magnetization fixed bed 104 is a layer which fixes magnetization of the pin layer 103, and is formed with the antiferromagnetism ingredient. Moreover, the substrate layer and protective layer which are not illustrated are formed in fact.

[0007] As the MR component 105 (the GMR component 105 is called hereafter.) equipped with such spin bulb film 100 is shown in drawing 19 , the bias layers 107a and 107b (the bias layer 107 is called hereafter.) are formed in the both ends of the longitudinal direction of the spin bulb film 100 formed by predetermined width of face through the 2nd non-magnetic layer 106a and 106b. The 2nd non-magnetic layer 106a and 106b is formed in order to raise the regularity of the crystal structure of the bias layer 107. On the bias layer 107 of a pair, the electrode layers 108a and 108b are formed, respectively.

[0008] And an external magnetic field is detected to the magnetization direction of the pin layer 103 using change of the electric resistance produced when the magnetization direction of the free layer 101 changes.

[0009] Moreover, the MR thin film 110 (the TMR thin film 110 is called hereafter.) in which the tunnel effect is shown is equipped with the free layer 111, the insulating non-magnetic layer 112, the pin layer 113, and the magnetization fixed bed 114 as shown in drawing 20 . The free layer 111 and the pin layer 113 are formed with the ferromagnetic ingredient. The magnetization fixed bed 114 is formed with the antiferromagnetism ingredient. Moreover, the substrate layer and protective layer which are not illustrated are formed in fact.

[0010] It comes to form the magnetic-shielding layers 117a and 117b on both the principal planes of the TMR thin film 110 with which the MR component 115 (the TMR component 115 is called hereafter.) equipped with such a TMR thin film 110 was formed by predetermined width of face through the gap layers 116a and 116b. In addition, the magnetic-shielding layers 117a and 117b and the gap layers 116a and 116b serve as the electrode layer.

[0011] And the conductance of the tunnel current which flows a sink to an abbreviation perpendicular direction and flows the insulating non-magnetic layer 112 in a current to the principal plane of the TMR thin film 110 at this time

is measured, and an external magnetic field is detected.

[0012]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] It is important that a magnetic domain wall does not arise inside each class which constitutes MR thin film by the MR head which used MR thin films, such as the spin bulb film 100 which was mentioned above, and the TMR thin film 110, in order to detect a minute external magnetic field with sufficient linearity.

[0013] However, in an MR head, the spin bulb film 100 and the TMR thin film 110 which were mentioned above are formed through the gap layer which maintains the insulation with MR thin film on the magnetic-shielding layer which draws the field of the outside for playback.

[0014] This gap layer is formed of SiO₂, aluminum 2O₃, etc. For this reason, turbulence of crystal regularity arises inside the free layer 102 in the GMR thin film 100, and the free layer 112 in the TMR thin film 110, and it is easy to generate a magnetic domain wall, magnetostriction, etc.

[0015] First, the GMR component 105 equipped with the spin bulb film 100 is mentioned as an example, and generating of the magnetic domain wall in the free layer 102 is explained.

[0016] In order to impress a bias field to the free layer 102, the bias layer 107 of a pair is formed in the both ends of the longitudinal direction of the spin bulb film 100. At the edge of the free layer 102, since the bias field impressed from the bias layer 107 to the free layer 102 is strong, it can remove the edge curling magnetic domain wall produced at the edge of the free layer 102.

[0017] However, the bias field impressed from the bias layer 107 to the free layer 102 is weak in the center section of the free layer 102. Since it is irregularly generated in the free layer 102 interior, the magnetic domain wall mentioned above may be produced in the center section of the free layer 102. In this case, since it is inadequate that the bias layer 107 is just formed as for the bias field impressed to the center section of the free layer 102, a magnetic domain wall is generated in the center section of the free layer 102.

[0018] Moreover, since the bias layer 107 is formed of the so-called ABATTO process, as it is difficult to form a configuration symmetrically and is shown in drawing 21 in fact, it is formed in an unsymmetrical configuration in many cases. Distribution of the resistance at this time becomes unsymmetrical in the both ends of the free layer 102, as shown in drawing 22.

[0019] Moreover, two or more formation of the MR component is carried out on a substrate. For this reason, the configuration of the bias layer 107 changes with the locations formed. For this reason, as shown in drawing 23, dispersion produces an MR head equipped with the GMR component 105 in distribution of the resistance in a magnetic force sensor.

[0020] In addition, gap length is 0.2 micrometers and the width of recording track of the MR head used in drawing 22 and drawing 23 is 0.7 micrometers.

[0021] Next, the TMR component 115 equipped with the TMR thin film 110 is mentioned as an example, and generating of the magnetic domain wall in the interior of the free layer 112 is explained.

[0022] In the TMR component 115, as mentioned above, a current is passed to an abbreviation perpendicular direction to a film surface. For this reason, when a bias layer is formed in the both ends of the TMR thin film 110, a current will shunt to a bias layer. Since it is impossible to form a bias layer in the both ends of the TMR thin film 110, it becomes difficult to perform magnetic-domain control to the free layer 112. For this reason, in the free layer 112, it is easy to generate a magnetic domain wall.

[0023] This invention is proposed in view of such the conventional actual condition, and aims at offering the magneto-resistive effect component which can, on the whole, carry out magnetic-domain control of the 1st ferromagnetic layer, and its manufacture approach.

[0024]

[Means for Solving the Problem] The magneto-resistive effect component concerning this invention is equipped with the magneto-resistive effect thin film with which sequential formation of a hard magnetism layer, the 1st non-magnetic layer, the 1st ferromagnetic layer, the 2nd non-magnetic layer, the 2nd ferromagnetic layer, and the antiferromagnetism layer is carried out, and an electrode layer. And the 1st non-magnetic layer of the above is characterized by carrying out antiferromagnetism association of the above-mentioned hard magnetism layer and the ferromagnetic layer of the above 1st.

[0025] Since the bias field from a hard magnetism layer is impressed to the 1st ferromagnetic whole layer, the magneto-resistive effect component concerning this invention constituted as mentioned above becomes possible [, carrying out magnetic-domain control of the 1st ferromagnetic layer on the whole]. For this reason, it becomes possible to detect a minute external magnetic field with sufficient linearity.

[0026] Moreover, the manufacture approach of the magneto-resistive effect component concerning this invention has a magneto-resistive effect film formation process and a both-ends removal process. In a magneto-resistive effect film formation process, a hard magnetism layer, the 1st non-magnetic layer, the 1st ferromagnetic layer, the 2nd non-magnetic layer, the 2nd ferromagnetic layer, and an antiferromagnetism layer form the magneto-resistive

effect thin film which comes to carry out sequential formation. In a both-ends removal process, the both ends are removed so that the above-mentioned magneto-resistive effect thin film may serve as a predetermined configuration.

[0027] Therefore, a hard magnetism layer becomes possible [offering the magneto-resistive effect component which is a predetermined configuration]. Moreover, magnetic-domain control of the 1st ferromagnetic whole layer can be carried out, and it becomes possible to offer the magneto-resistive effect component which can detect a minute external magnetic field with sufficient linearity.

[0028]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the gestalt of operation of this invention is explained to a detail, referring to a drawing. Below, the magneto-resistive effect component 1 (the GMR component 1 is called hereafter.) which has giant magneto-resistance as shown in drawing 1 first is explained.

[0029] In addition, in order to illustrate the description of each part intelligibly, the drawing used by the following explanation may expand the part used as the description, and may show it, and the ratio of the dimension of each part material of it is not necessarily the same as that of the actual condition. Moreover, although illustrated about a configuration, an ingredient, etc. of each class which constitute the GMR component 1 from below, this invention is not limited to the GMR component 1 to illustrate, and should just choose a configuration, an ingredient, etc. of each class according to the purpose and engine performance which are considered as a request.

[0030] The spin bulb film 9 with which the GMR component 1 equips substrate top 2 with the bias layer 3, an interlayer 4, the free layer 5, the conductive non-magnetic layer 6, the pin layer 7, and the magnetization fixed bed 8 as shown in drawing 1 is formed. And it comes to form the electrode layers 10a and 10b (for the electrode layer 10 to be called collectively hereafter.) in the both ends of the spin bulb film 9.

[0031] The substrate 2 is formed with nonmagnetic non-conductive ingredients, such as glass.

[0032] The bias layer 3 is formed of the hard magnetic material. As an example of the hard magnetic material used, CoCrPt, CoPt, CoNiPt, Co gamma-Fe 2O₃, etc. are mentioned. By impressing a bias field to the free layer 5, the bias layer 3 single-domain-izes the magnetic domain of the free layer 5 interior, and prevents generating of a magnetic domain wall.

[0033] A configuration is prescribed by by giving etching or ion milling to both ends so that the bias layer 3 may be mentioned later. For this reason, the bias layer 3 becomes possible [considering as a predetermined configuration with high precision].

[0034] The middle class 4 is formed of the non-magnetic material, and has the function to combine in antiferromagnetism the bias layer 3 and the free layer 5 mentioned later. In other words, let the magnetization direction of the magnetization direction of the bias layer 3, and the free layer 5 be 180-degree reverse sense. Ru, Cu, Ag, and Au are mentioned as an example of the ingredient which forms this antiferromagnetism binder course 4.

[0035] In addition, as shown in drawing 2 , the coupling constant J_i of the bias layer 3 and the free layer 5 changes with the middle class's 4 thickness. At the time of $J_i < 0$, the bias layer 3 and the free layer 5 are combined in antiferromagnetism. In the gestalt of this operation, the interlayer 4 was formed by Ru. At this time, as for an interlayer's 4 thickness, it is desirable that they are 0.65nm or more and 0.90nm or less, and it is most desirable that it is 0.8nm.

[0036] However, the thickness of the middle class 4 set to $J_i < 0$ changes with the ingredients which form the bias layer 3, the free layer 5, and the middle class 4. For this reason, an interlayer 4 should just form by the thickness it is thin to $J_i < 0$.

[0037] The free layer 5 is a part where magnetization changes with external magnetic fields, and is formed with the ferromagnetic ingredient. NiFe, CoFe, etc. are mentioned as an example of the ferromagnetic ingredient used.

[0038] As shown in drawing 3 , the bias layer 3 and the free layer 5 are combined in antiferromagnetism by forming the middle class 4. And the magnetization direction of the bias layer 3 turns into a direction shown by the arrow head A, and the magnetization direction of the free layer 5 turns into a direction shown by the arrow head B. Moreover, in the edge of the bias layer 3 and the free layer 5, the field shown by the arrow head C and the arrow head D arises. For this reason, the bias layer 3 becomes possible [the thing in the free layer 5 continuously done for the magnetic-domain control of from an edge to the other-end section], and becomes possible [carrying out magnetic-domain control of the free layer 5 whole].

[0039] As mentioned above, the bias layer 3 becomes possible [impressing a bias field to the free layer 5 whole] by the bias layer's 3 adjoining the free layer 5, and forming it through the middle class 4. For this reason, the bias layer 3 single-domain-izes the whole in the free layer 5, and prevents generating of a magnetic domain wall.

[0040] The conductive non-magnetic layer 6 is a part which giant magneto-resistance discovers in the spin bulb film 9 by forming this. The conductive non-magnetic layer 6 is formed with the ingredient in which it is nonmagnetic and conductivity is shown. Au, Ag, Cu, etc. are mentioned as an example of the ingredient used.

[0041] The pin layer 7 is the part where the magnetization direction was fixed, and is formed with the

ferromagnetic ingredient. NiFe, CoFe, Co, etc. are mentioned as an example of the ferromagnetic ingredient used. [0042] By carrying out switched connection to the pin layer 7 mentioned above, the magnetization fixed bed 8 is a part which fixes the magnetization direction of the pin layer 7, and is formed with an antiferromagnetism ingredient. As an example of the antiferromagnetism ingredient used, IrMn, FeMn, NiMn, RhMn, PtMn, CoPtMn, etc. are mentioned.

[0043] The electrode layer 10 supplies a sense current to the spin bulb film 9. The electrode layer 10 is conductivity and is formed in the shape of a thin film with the metallic material with low resistance. By using an ingredient with low resistance here, it becomes possible to lower the resistance of the GMR component 1 whole. As an example of the metallic material used, Cr, Ta, etc. are suitable.

[0044] As mentioned above, when the resistance in the MR head produced using the constituted GMR component 1 was measured, as shown in drawing 4, it became clear that distribution of resistance was bilateral symmetry. Moreover, it became clear that there is also little dispersion in resistance.

[0045] The GMR component 1 is that the bias layer 3 can impress a bias field to the free layer 5 whole by the bias layer's 3 adjoining the free layer 5, and forming it through the 1st non-magnetic layer 4, so that clearly also from the above explanation. For this reason, in the GMR component 1, the free layer 5 whole is single-domain-ized, and generating of a magnetic domain wall is prevented.

[0046] Moreover, when the bias layer 3 and the free layer 5 join together in antiferromagnetism, as shown in drawing 3, the direction of the field which the bias layer 3 impresses to the free layer 5, and the direction of the magnetization in the free layer 5 are in agreement. By this, since the bias layer 3 becomes possible [the thing in the free layer 5 continuously done for the magnetic-domain control of from an edge to the other-end section], as it shows drawing 5, magnetization of the free layer 5 serves as the fixed direction in the whole. And distribution of the resistance in the GMR component 1 serves as bilateral symmetry, and becomes possible [detecting a minute external magnetic field with sufficient linearity].

[0047] In addition, as the GMR component 1 is shown in drawing 6, sequential formation of the magnetization fixed bed 8, the pin layer 7, the conductive non-magnetic layer 6, the free layer 5, the middle class 4, and the bias layer 3 is carried out on the substrate 2, and the electrode layers 10a and 10b may be formed in the both ends.

[0048] Below, the magneto-resistive effect component 20 (the TMR component 20 is called hereafter.) which shows the tunnel effect is explained. In addition, although illustrated about a configuration, an ingredient, etc. of each thin film which constitute the TMR component 20 from below, this invention is not limited to the TMR component 20 to illustrate, and should just choose a configuration, an ingredient, etc. of each thin film according to the purpose and engine performance which are considered as a request.

[0049] Sequential formation of lower magnetic-shielding layer 21a, lower magnetic gap layer 22a, the bias layer 23, an interlayer 24, the free layer 25, the tunnel barrier layer 26, the pin layer 27, the magnetization fixed bed 28, up gap layer 22b, and the up magnetic-shielding layer 21b is carried out, and the TMR component 20 becomes, as shown in drawing 7. The TMR thin film 29 is formed of the bias layer 23, an interlayer 24, the free layer 25, the tunnel barrier layer 26, the pin layer 27, and the magnetization fixed bed 28. In addition, the perimeter of the TMR component 20 is filled up with the insulating material which is not illustrated.

[0050] Lower magnetic-shielding layer 21a and up magnetic-shielding layer 21b (it is hereafter named the magnetic-shielding layer 21 generically collectively.) serve as the electrode layer. The magnetic-shielding layer 21 is formed from a magnetic material with conductivity. Sendust (Fe-aluminum-Si alloy) etc. is mentioned as an example of the ingredient used. Moreover, the width of face of this lower magnetic-shielding layer 21a and up magnetic-shielding layer 21b is called distance between shielding.

[0051] Lower gap layer 22a and up gap layer 22b (it is hereafter named the gap layer 22 generically.) isolate magnetically the magnetic-shielding layer 21 and each metal layer which constitutes the TMR thin film 29. Lower gap layer 22a isolates lower magnetic-shielding layer 21a and the bias layer 23, and, specifically, up gap layer 22b isolates up shielding layer 21b and the magnetization fixed bed 28.

[0052] The gap layer 22 serves also as the electrode layer. The gap layer 22 is formed from a non-magnetic material with conductivity. Cu etc. is mentioned as an example of the ingredient used.

[0053] The bias layer 23 is the same as the bias layer 3 in the GMR component 1 mentioned above, by impressing a bias field to the free layer 25, single-domain-izes the magnetic domain of the free layer 25 interior, and prevents generating of a magnetic domain wall. The bias layer 23 is formed of a hard magnetic material. As an example of the hard magnetic material used, CoCrPt, CoPt, CoNiPt, Co gamma-Fe 2O₃, etc. are mentioned.

[0054] The middle class 24 combines in antiferromagnetism the free layer 25 which is the same as the middle class 4 in the GMR component 1 mentioned above, and is later mentioned with the bias layer 23. Ru, Cu, Ag, and Au are mentioned as an example of the ingredient which forms an interlayer 24.

[0055] In addition, the coupling constant J_i of the bias layer 23 and the free layer 25 changes with the middle class's 24 thickness like the GMR component 1 mentioned above. At the time of $J_i < 0$, the bias layer 23 and the free layer 25 are combined in antiferromagnetism association. However, the thickness of the middle class 25 set to $J_i < 0$

changes with the ingredients which form the bias layer 23, the middle class 24, and the free layer 25. For this reason, what is necessary is just to make it an interlayer's 24 thickness set to $J_i < 0$.

[0056] The free layer 25 is a part where magnetization changes with external magnetic fields, and is formed with the ferromagnetic ingredient. NiFe, CoFe, etc. are mentioned as an example of the ferromagnetic ingredient used.

[0057] Also in the TMR component 20, the bias layer 23 and the free layer 25 are combined in antiferromagnetism by forming the middle class 24 like the GMR component 1. And as shown in drawing 3, the magnetization direction of the bias layer 23 turns into a direction shown by the arrow head A, and the magnetization direction of the free layer 25 turns into a direction shown by the arrow head B. Moreover, in the edge of the bias layer 23 and the free layer 25, the field shown by the arrow head C and the arrow head D arises.

[0058] For this reason, the bias layer 23 becomes possible [the thing in the free layer 25 continuously done for the magnetic-domain control of from an edge to the other-end section], and becomes possible [carrying out magnetic-domain control of the free layer 25 whole].

[0059] As mentioned above, also in the TMR component 20, the bias layer 23 becomes possible [impressing a bias field to the free layer 25 whole] like the GMR component 1 by the bias layer's 23 adjoining the free layer 25, and forming it through the 1st non-magnetic layer 24. For this reason, the bias layer 23 single-domain-izes the free layer 25 whole, and prevents generating of a magnetic domain wall.

[0060] The tunnel barrier layer 26 is a part where tunnel current flows, when a sense current is passed to the TMR component 20. In addition, a sense current flows perpendicularly to the principal plane of the TMR thin film 29. With the TMR component 20, an external magnetic field is detected by detecting the conductance of this tunnel current. The tunnel barrier layer 26 was created with the metal which is nonmagnetic and is insulation, and it reaches to an extreme of it, and it is a film. Although aluminum $2O_3$ is mentioned as an example of the ingredient used, it will not be limited especially if it is the ingredient with which tunnel current flows.

[0061] The direction of magnetization is being fixed by switched connection with the magnetization fixed bed 28 which mentions the pin layer 27 later. The pin layer 27 is formed with a ferromagnetic. CoFe etc. is mentioned as an example of the ferromagnetic used.

[0062] The magnetization fixed bed 28 is considering switched connection as the pin layer 27, and fixes magnetization of the pin layer 27. The magnetization fixed bed 28 is formed with the antiferromagnetic substance. IrMn is mentioned as an example of the antiferromagnetic substance used.

[0063] The TMR component 20 becomes possible [impressing a bias field to the free layer 25 whole] by the bias layer's 23 adjoining the free layer 25, and forming it through an interlayer 24, so that clearly also from the above explanation. For this reason, the free layer 25 whole is single-domain-ized, and it becomes possible to prevent generating of a magnetic domain wall.

[0064] Moreover, when the bias layer 23 and the free layer 25 join together in antiferromagnetism, the direction of the bias field which the bias layer 23 impresses to the free layer 25, and the direction of the magnetization in the free layer 25 are in agreement. By this, since the bias layer 23 becomes possible [the thing in the free layer 25 continuously done for the magnetic-domain control of from an edge to the other-end section], magnetization of the free layer 25 serves as the fixed direction in the whole.

[0065] And distribution of the resistance in the magnetic force sensor of the TMR component 20 serves as bilateral symmetry, and becomes possible [detecting a minute external magnetic field with sufficient linearity].

[0066] As the TMR component 20 is shown in drawing 8, moreover, lower magnetic-shielding layer 21a, Sequential formation of the lower gap layer 22a is carried out. On lower magnetic-shielding layer 22a The magnetization fixed bed 28, Sequential formation of the pin layer 27, the tunnel barrier layer 26, the free layer 25, the middle class 24, and the bias layer 23 is carried out, and the laminating of up gap layer 22b and the up shielding layer 21b may be carried out one by one on it.

[0067] Below, the manufacture approach of MR component is explained. First, the manufacture approach of the GMR component 1 mentioned above is explained. In addition, in order to illustrate the description intelligibly, like drawing 1 thru/or drawing 8, the drawing used by the following explanation may expand the part used as the description, and may show it, and the ratio of the dimension of each part material of it is not necessarily the same as that of the actual condition.

[0068] The permanent magnet layer 41 which finally turns into the bias layer 3 first on the substrate material 40 which finally serves as a substrate 2 as shown in drawing 9 when manufacturing the GMR component 1, The 1st non-magnetic layer 42 which finally turns into an interlayer 4, and the 1st ferromagnetic layer 43 which finally turns into the free layer 5, Finally the laminating of the conductive non-magnetic layer 6, the 2nd becoming non-magnetic layer 44, the 2nd ferromagnetic layer 45 which finally turns into the pin layer 7, and the antiferromagnetism layer 46 which finally turns into the magnetization fixed bed 8 is carried out one by one by sputtering etc. The spin bulb film 9 is formed by this.

[0069] Next, the both ends of the spin bulb film 9 are removed, and it considers as a predetermined configuration. At this time, first, as shown in drawing 10, on the 2nd non-magnetic layer 44, a resist ingredient is applied, a resist

layer is formed, patterning is carried out so that it may become a predetermined configuration about this resist layer by the photolithography method, and a resist pattern 47 is formed.

[0070] Next, it etches until the substrate material 40 is exposed to the both ends of each class with ion milling etc., as shown in drawing 11, and the both ends of the spin bulb film 9 are removed.

[0071] Since the configuration of the bias layer 3 is prescribed with high precision by removing the both ends of the permanent magnet layer 41 as mentioned above, it becomes easy to form the bias layer 3 of a predetermined configuration. And it becomes easy to offer the GMR component 1 which can impress sufficient bias field to the free layer 5. Moreover, the width of face of a magnetic force sensor becomes possible [offering the GMR component 1 specified correctly]. For this reason, the productivity of the GMR component 1 improves.

[0072] Next, as shown in drawing 12, the conductive metal layer 48 which finally turns into the electrode layer 10 is formed in the both ends of the spin bulb film 9.

[0073] Finally, a photoresist 47 is removed and the GMR component 1 as shown in drawing 1 R> 1 is completed.

[0074] According to the manufacture approach of the GMR component 1, it becomes easy to offer the GMR component 1 as which the configuration of the bias layer 3 and a magnetic force sensor was specified with high precision so that clearly also from the above explanation. For this reason, the productivity of the GMR component 1 improves. Moreover, it becomes possible to offer the GMR component [there are few magnetic domain walls in the free layer 5, and] 1 which can detect a minute external magnetic field with sufficient linearity.

[0075] Below, the manufacture approach of the TMR component 20 is explained.

[0076] First, as shown in drawing 13, the 1st magnetic layer 51 finally set to lower magnetic-shielding layer 22a is formed on the 1 principal plane of the substrate material 50. As for the 1st magnetic layer 51, it is desirable to carry out flattening to altitude. The substrate material 50 is formed with a nonmagnetic non-conductive ingredient. As an example, what is used when [, such as an AlTiC system and a TiO-CaO system,] manufacturing a thin film head generally is mentioned.

[0077] Next, the 1st non-magnetic layer 52 finally set to lower gap layer 23a on the 1st magnetic layer 51 as shown in drawing 14, The permanent magnet layer 53 which finally turns into the bias layer 24, and the 2nd non-magnetic layer 54 which finally turns into an interlayer 25, The 1st ferromagnetic layer 55 which finally turns into the free layer 26, and the 3rd non-magnetic layer 56 which finally turns into the tunnel barrier layer 27, Sequential formation of the 2nd ferromagnetic layer 57 which finally turns into the pin layer 28, the antiferromagnetism layer 58 which finally turns into the magnetization fixed bed 29, and the 4th non-magnetic layer 59 finally set to up gap layer 23b is carried out by technique, such as for example, the sputtering method.

[0078] Next, as shown in drawing 15, on the 4th non-magnetic layer 59, a resist ingredient is applied, a resist layer is formed, patterning of this resist layer is carried out to a predetermined configuration by the photolithography method, and a resist pattern 60 is formed.

[0079] Next, it etches until the 1st magnetic layer 51 is exposed to the both ends of each class, and it is made for each class to serve as predetermined width of face by ion milling, as shown in drawing 16.

[0080] Next, as shown in drawing 17, an insulating layer 61 is formed on the 1st magnetic layer 51 etched and exposed. Then, a resist pattern 60 is exfoliated with an organic solvent etc.

[0081] Next, as shown in drawing 18, the 2nd magnetic layer 62 finally set to up magnetic-shielding layer 21b is formed on the insulating layer 61 which forms an abbreviation same side, and the 4th non-magnetic layer 59. Then, the 2nd magnetic layer 62 is made into a predetermined configuration, and it is referred to as up magnetic-shielding layer 21b. As an approach of forming the 2nd magnetic layer 62, plating using the resist pattern made into the predetermined configuration, the approach of etching after membrane formation by the spatter, etc. are mentioned. Thereby, the TMR component 20 as shown in drawing 7 is created.

[0082] According to the manufacture approach of the TMR component 20, it becomes possible to offer the TMR component [there are few magnetic domain walls in the free layer 26, and] 20 which can detect a minute external magnetic field with sufficient linearity so that clearly also from the above explanation.

[0083] In the GMR component 1, the bias layer 3 becomes possible [impressing a bias field to the free layer 5 whole] by the bias layer's 3 adjoining the free layer 5, and forming it through the middle class 4, so that clearly also from the above explanation. For this reason, on the whole, the free layer 5 is single-domain-ized, and the GMR component 1 has little generating of a magnetic domain wall.

[0084] Moreover, when the bias layer 3 and the free layer 5 join together in antiferromagnetism, the direction of the bias field which the bias layer 3 impresses to the free layer 5, and the direction of the GMR component 1 of the magnetization in the free layer 5 correspond. Since this enables it to carry out magnetic-domain control of from one edge to the other-end section continuously in the free layer 5, magnetization becomes fixed and distribution of the resistance in the GMR component 1 serves as bilateral symmetry. For this reason, it becomes possible to offer the GMR component 1 which can detect a minute external magnetic field with sufficient linearity.

[0085] Moreover, the TMR component 20 is that the bias layer 24 can impress a bias field to the free layer 26 whole by the bias layer's 24 adjoining the free layer 26, and forming it through the middle class 25. For this reason,

on the whole, the free layer 26 is single-domain-ized, and the TMR component 20 has little generating of a magnetic domain wall.

[0086] Moreover, in the TMR component 20, when the bias layer 24 and the free layer 26 join together in antiferromagnetism, the direction of the bias field which the bias layer 24 impresses to the free layer 26, and the direction of the magnetization in the free layer 26 are in agreement. By this, since the bias layer 24 becomes possible [the thing in the free layer 26 continuously done for the magnetic-domain control of from an edge to the other-end section], it becomes fixed [magnetization of the free layer 26]. And distribution of the resistance in the TMR component 20 serves as bilateral symmetry.

[0087] Moreover, since it becomes easy to make the bias layer 3 and a magnetic force sensor into a predetermined configuration with high precision according to the manufacture approach of the GMR component 1, productivity improves. Moreover, the magnetic domain wall in the free layer 5 becomes it is few and possible [offering the GMR component 1 which can detect a minute external magnetic field with sufficient linearity].

[0088] Moreover, according to the manufacture approach of the TMR component 20, the magnetic domain wall in the free layer 26 becomes it is few and possible [offering the TMR component 20 which can detect a minute external magnetic field with sufficient linearity].

[0089]

[Effect of the Invention] In the magneto-resistive effect component concerning this invention, a hard magnetism layer becomes possible [impressing a bias field to the 1st ferromagnetic whole layer] by a hard magnetism layer's adjoining the 1st ferromagnetic layer, and forming it through the 1st non-magnetic layer, so that clearly also from the above explanation. For this reason, the magneto-resistive effect component concerning this invention single-domain-izes the 1st ferromagnetic whole layer, and becomes possible [preventing generating of a magnetic domain wall].

[0090] Moreover, when a hard magnetism layer and the 1st ferromagnetic layer join together in antiferromagnetism, the direction of the field which a hard magnetism layer impresses to the 1st ferromagnetic layer, and the direction of the magnetization in the 1st ferromagnetic layer are in agreement. By this, since a hard magnetism layer becomes possible [the thing in the 1st ferromagnetic layer continuously done for the magnetic-domain control of from an edge to the other-end section], magnetization of the 1st ferromagnetic layer becomes fixed and distribution of the resistance in a magneto-resistive effect component serves as bilateral symmetry.

[0091] Moreover, since it becomes easy to set constant the configuration of a hard magnetism layer and a magnetic force sensor according to the manufacture approach of a magneto-resistive effect component, productivity improves. Moreover, the magnetic domain wall in the 1st ferromagnetic layer becomes it is few and possible [offering the magneto-resistive effect component which can detect a minute external magnetic field with sufficient linearity].

[Translation done.]

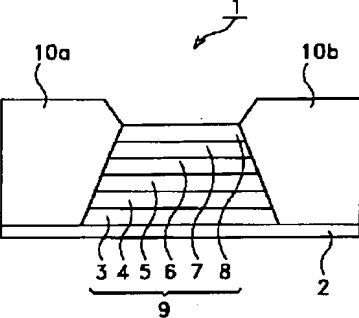
* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

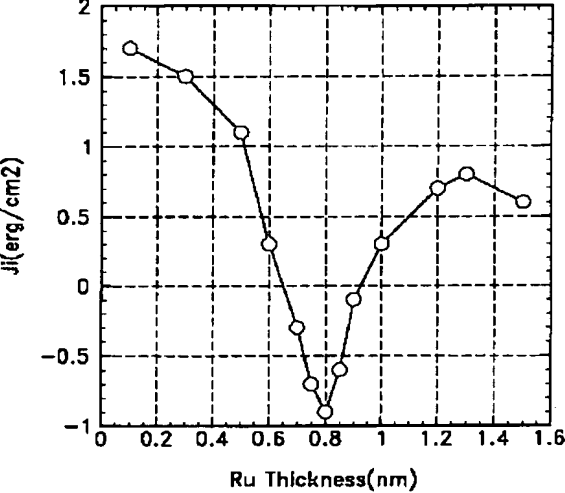
- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

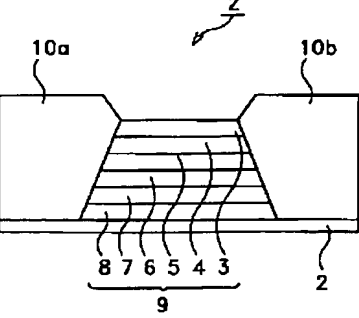
[Drawing 1]



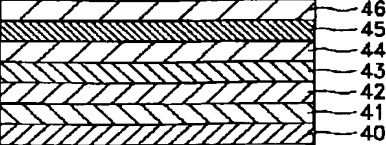
[Drawing 2]



[Drawing 6]



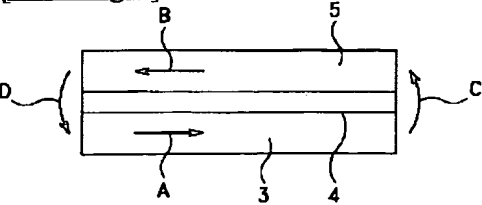
[Drawing 9]



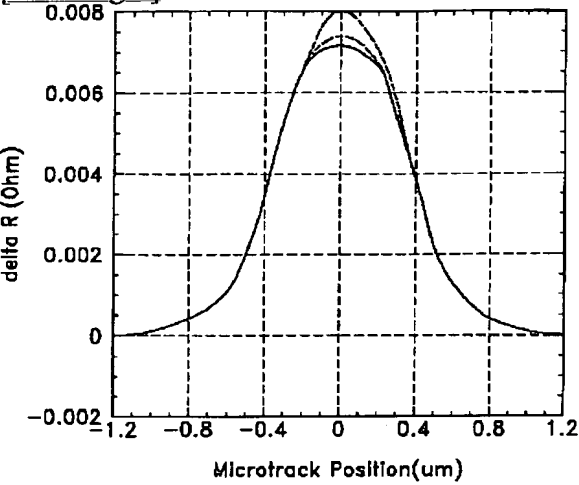
[Drawing 13]



[Drawing 3]



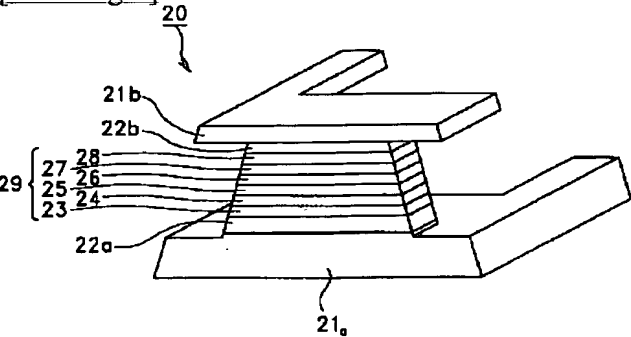
[Drawing 4]



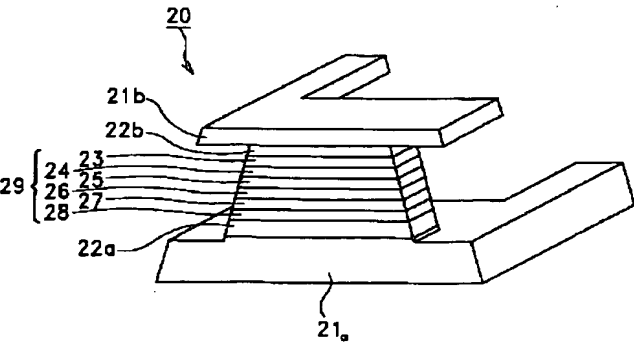
[Drawing 5]



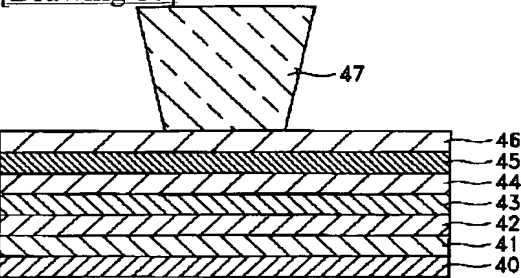
[Drawing 7]



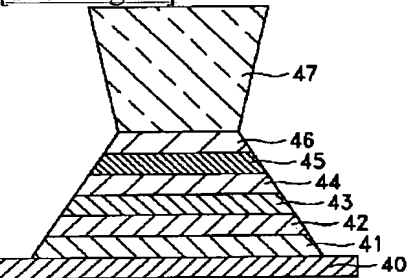
[Drawing 8]



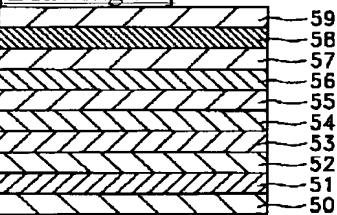
[Drawing 10]



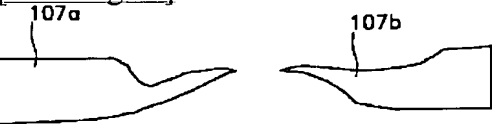
[Drawing 11]



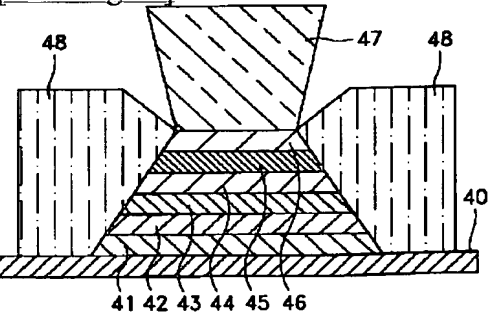
[Drawing 14]



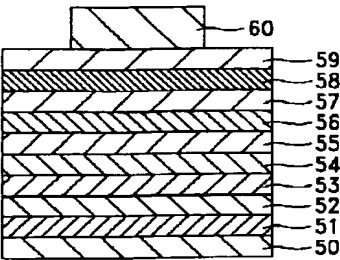
[Drawing 21]



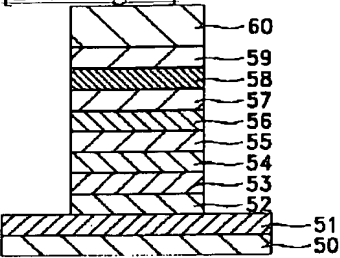
[Drawing 12]



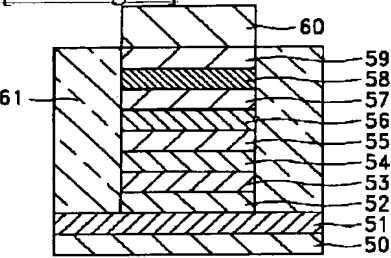
[Drawing 15]



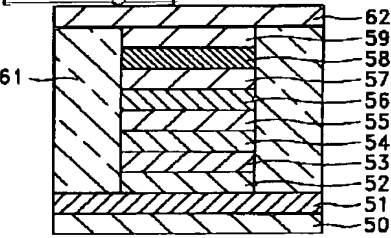
[Drawing 16]



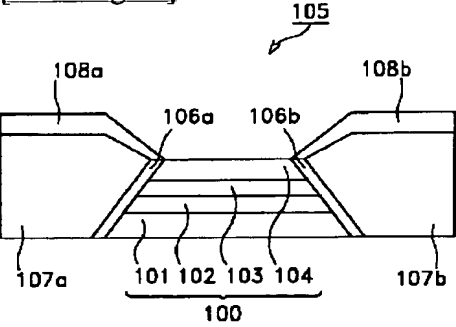
[Drawing 17]



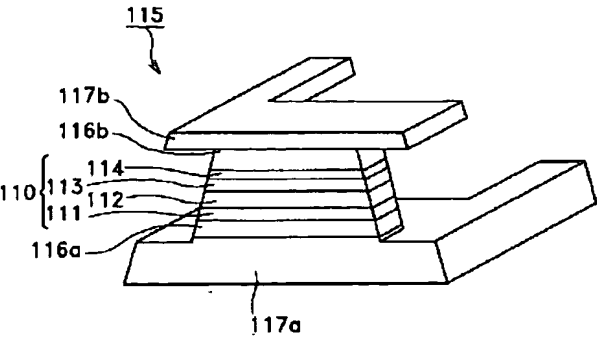
[Drawing 18]



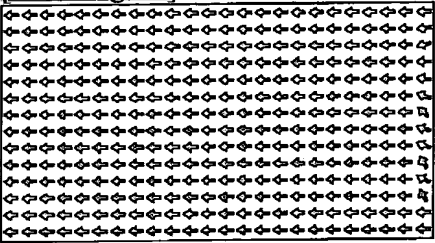
[Drawing 19]



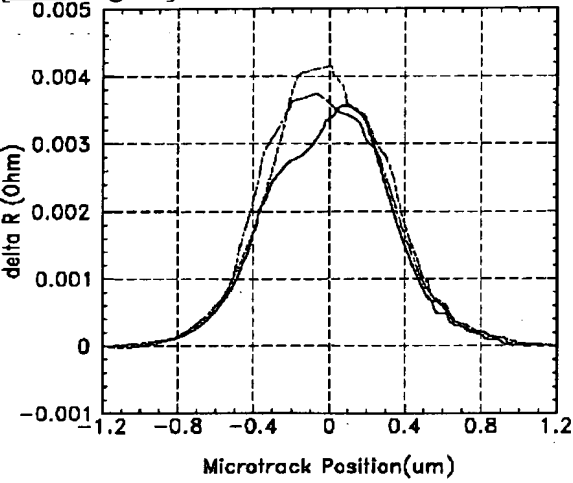
[Drawing 20]



[Drawing 22]



[Drawing 23]



[Translation done.]

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.